

Kan vi bruke jordanalysene mer målretta?

- basemetningsgrad ("Albrechts metode") kontra tradisjonell AL-metode og pH

NLR Viken v/ Torgeir Tajet

Det er relativt gode sammenhenger mellom ulike analysemetoder for jord. Det er derfor mest praktisk å forholde seg til de analysemetoder som er etablert i hvert enkelt land. I Norge er det tradisjon for å bruke AL-metode og pH. Kationbyttekapasitet og basemetningsgrad, som brukes i Albrechts metode kan enkelt beregnes ut fra tradisjonell AL-metode og pH. Analysene etter Albrechts metode er unødvendig kostbare.

Det er gjort mange forsøk og oppsummeringer av forsøk når det gjelder "ideell" sammensetning av basekationer i jord. Konklusjonen er at det ikke har vært mulig å finne at et bestemt forhold mellom basekationene har effekt på plantevekst eller ugras, og under norske forhold heller ikke på struktur i jorda. Foreløpig er det ikke dokumentert effekt på jordbiologi.

Det skal mye til at en gjør noe galt ved å endre sammensetningene av basekationene i jorda, men det er lite effektivt og unødvendig kostbart.

Jordanalyser og pH har lange tradisjoner

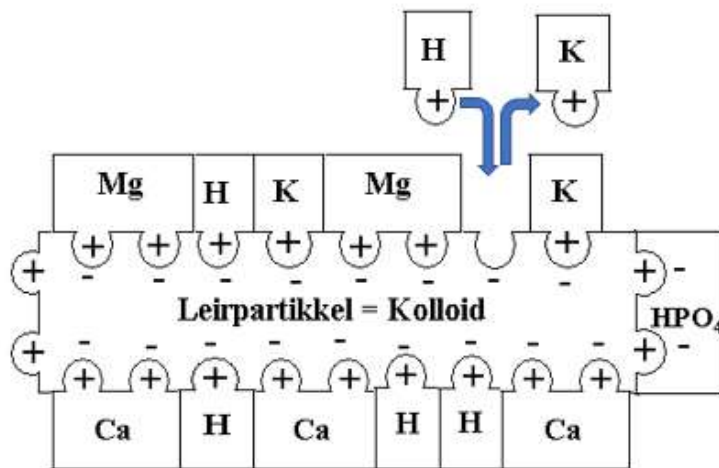
Jordanalyser utføres for å vurdere hvor mye P, K og Mg som bør tilføres årets vekst. Er verdiene i jorda høye, kan vi spare litt og er de lave gir vi litt ekstra. I tillegg vurderer vi pH sammen med verdier for Ca og Mg for å bestemme hvor mye og hva slags kalk som bør brukes. Andre næringsstoffer analyseres stort sett bare ved mistanke om mangel.

Den tyske kjemikeren Justus von Liebig sa i sin "minimumslov" i 1843, at avlingsstørrelsen er avhengig av det næringsstoffet som det er relativt minst av. Sener har vi også lært at store konsentrasjoner av enkelte næringsstoffer kan undertrykke opptak av andre. Blant annet kan mye Ca i forhold til Mg gi Mg-mangel i planter, og for mye K i forhold til Mg hos husdyr gi graskrampe. Vi har også lært at pH påvirker tilgjengeligheten av enkelte næringsstoffer. Eksempelvis bindes P sterkt til aluminium og jern når pH er lav, og mangan, sink og bor bindes sterkt i jorda når pH er svært høy. Plantene kan da få næringsmangel, selv om jorda i utgangspunktet har en høy konsentrasjon av disse næringsstoffene.

Mange har spurt seg om det finnes en sammensetning av næringsstoffer i jorda som er optimal for plantene. Kan vi utnytte jordanalysene mer målretta ved å ha økt fokus på forholdet mellom de ulike næringsstoffene? Finnes det andre analysemetoder som gjør det enklere for oss å oppnå en "optimal næringsbalanse" i jorda?

Basemetningsgrad og kationbyttekapasitet

Jord med ulik kornstørrelse (tekstur) har ulik spesifikk overflate, og derfor kan forskjellige jordarter holde på ulike mengde næringsstoffer. 1 cm³ sand har en overflate tilsvarende størrelsen på ei brødskeiv, mens 1 cm³ leir kan ha en samlet overflate som tilsvarer grunnflate på et hus. 1 cm³ organisk materiale kan ha en samlet overflate på 800 m². Leir er små "flak" med negative ladninger på flatene og positive ladninger på kantene. De negative flatene på leirpartiklene kan binde til seg positive ioner og de positivt ladde sidene kan binde til seg negativt ladde ioner. Jo større spesifikk overflate jorda har, jo flere næringsstoffer kan den holde på. Jordas kapasitet til å binde til seg positive ladninger måles i **kationbyttekapasitet (CEC)**, som er et mål på antall ladninger, oppgitt i milliekvivalenter (me)/ 100 g jord. 1 ekvivalent tilsvarer 1 mol (6,02*10²³) ladninger.



Figuren viser ioner bundet til et leirkolloid med negative ladninger på over- og undersiden og positive ladninger på kantene. Eksempelet viser at H^+ bytter ut K^+ på leirkolloidet.

Noen av ladningsplassene i kationbyttekapasiteten er fylt opp av de positivt ladde næringsstoffene Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ og Na^+ . Disse kalles basekationer. **Basemetningsgraden** er et mål på hvor stor andel av kationbyttekapasiteten som er fylt opp av basekationer.

$$\text{Basemetningsgrad \%} = \frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+) \cdot 100}{\text{Kationbyttekapasitet (CEC)}}$$

Når vi kalker, øker basemetningsgraden fordi Ca (Ca^{2+}) og Mg (Mg^{2+}) i kalken "jager bort" H^+ -ioner fra leirpartiklene og tar plassen deres. H^+ -ionene nøytraliseres av OH^- eller HCO_3^- fra kalken og det dannes vann eller CO_2 og vann. Kationbyttekapasiteten i jorda er relativt konstant fordi den er knyttet til andel leire og den samlede overflaten til leirpartiklene i jorda. Innhold av organisk materiale har også stor betydning, slik at kationbyttekapasiteten kan endres hvis vi gjør grep som endrer jordas innhold av organisk materiale. Dette henger sammen med at det organiske materialet i jord har så stor overflate. Basemetningsgraden vil i større grad kunne endres. Den øker ved kalking og reduseres ved forsuring.

Teori om "Ideelle" forhold mellom basekationer i jorda

Basekationene er definert som Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ og Na^+ . De kalles basekationer fordi de dannet baser med OH^- , men de bindes ikke sterkt til OH^- . Al^{3+} og Fe^{3+} / Fe^{2+} kalles sure kationer fordi de bindes sterkere til OH^- . Hvor stor andel av basemetningsgraden som "ideelt sett" skal utgjøres av de ulike basekationene, har vært et diskusjonstema fra tidlig på 1900-tallet. Utgangspunktet var observasjoner av at svært mye Ca i forhold til Mg og omvendt kunne gi misvekst i plantene. Forsøk utført av Oscar Loew og D.W. May i 1901, foreslo et ideelt Ca:Mg-forhold på 4-5, men forsøk på å etterprøve dette "optimale" forholdstallet, viste at plantene håndterte et vidt spekter av Ca:Mg-forhold, uten utslag på avlingsnivå, så sant det ikke var mangel på et næringsstoff.

På slutten av 1930-tallet begynte William Albrecht, formann ved Department of Soils ved University of Missouri, å undersøke hvilken betydning sammensetningen av basekationene i jorda har for vekst i belgvekster. Han konkluderte med at helsetilstanden på storfe syntes å være god når forholdene mellom kationene i jorda lå på H 10%; Ca 60-75%, Mg, 10-20%, K 2-5%, Na 0,5-5% og andre kationer 5%.¹

¹ Albrecht, W.A. 1975. The Albrecht papers. Vol. 1: Foundation concepts. Acres USA, Kansas City.

Albrecht var en høyt anerkjent jordforsker, men hevdet likevel at pH hadde underordnet betydning for plantene, noe som i flere forsøk senere har vist seg å være feil. I dag vet vi at lav pH løser ut aluminium fra jordpartiklene, og at aluminium fester seg til fosfolipidene på cellemembranene til røttene og hindrer rotutvikling og næringsopptak. Albrecht var mer opptatt av Ca-innholdet i jorda og at jorda hadde en viss basemetningsgrad. Til forsvar for Albrecht må sies at pH gjerne vil ligge på 6-6,5 når jorda har en basemetningsgrad på rundt 80%. Derfor vil pH og basemetningsgrad alltid være sterkt korrelert, og i praksis være to sider av samme sak.

Albrecht overlot mye av forskningsmaterialet sitt til Charles Walters som grunnla tidsskriftet Acres USA, som i dag skriver mye om økologisk landbruk, regenerativt landbruk og også er opptatt av å "optimalisere" forholdet mellom næringsstoffene i jorda.

Flere har kommet med anbefalinger om hva som er den ideelle sammensetninger av basekationer i jord. Bear, Prince and Malcolm foreslo i 1945 at den ideelle sammensetningen av basekationer i jord var 65% Ca, 10% Mg, 5% K and 20% H.² Dette var basert på forsøk i luserne. I 1959 modifiserte Graham og Bear grensene for Ca til 65-85% av kationbyttekapasiteten.³ I 1981 redefinerte Baker og Amacher de ideelle forholdene mellom basekationene til å være 60–80% Ca, 10–20% Mg og 2–5% K. Neal Kinsey og Charles Walters skrev i 1993 boka "Hands on Agronomy" hvor de definerte de ideelle forholdene mellom basekationene til å være 60–70% Ca, 10–20% Mg, 3–5% K, 1% Na, 10–15% H, 2–4% andre kationer.⁴

Hva så med viktige næringsstoffer med negative ladninger (anioner) som fosfat, sulfat og klorid? Er det også her diskutert "ideelle forhold" mellom elementene? Disse er ikke basekationer og går derfor ikke inn i teorien om ideell sammensetning av basekationer på kolloidene, men mange tilhengere av "ideell jord"-teori vektlegger også at det skal være et forhold mellom disse.

Mikronæringsstoffene Cu, Zn, Mn, Fe, Mo og B inngår ikke i teorien om optimalisering av sammensetning av basekationer. Disse er også helt essensielle næringsstoffer for plantene, men selv om flere av dem også kan bindes til leirkolloidene regnes de ikke som basekationer og vil ikke ta opp noen vesentlig andel av ladningsplassene på kolloidene. Derfor ser en ikke på disse på samme måte som Ca, Mg, K, Na og H. Noen av dem går også inn i andre forbindelser enn kationbytting på leirkolloidene. Alle disse mikronæringsstoffer finnes i jord og planter i svært små konsentrasjoner. Grensene mellom mangel og forgiftning av mikronæringsstoffer kan være tette. Likevel er "ideell jord"-tilhengere også opptatt av disse. En fordel med en såkalte "Albrechts analyse" er at en også får analysert en del mikronæringsstoffer. Siden analyse av mikronæringsstoffer krever egne ekstraksjoner, er dette noe av årsaken til at "Albrechts analyse" koster mer enn analyser der det kun gjøres en ekstraksjon.

Analysemetoder for jord

For å få et bilde av hvor stor andel av næringsstoffene i jorda som er plantetilgjengelige brukes ekstraksjonsmidler, de fleste av dem svake syrer. Planterøttene skiller ut syrer, og disse bidrar til å bytte ut basekationer fra leirpartiklene til jordvæska. Tanken er at de svake syrene vi ekstraherer med skal "imitere" planterøttene i å bytte ut basekationer. I Norge er det lange tradisjoner med å bruke AL-metoden til å ekstrahere basekationene Ca, Mg og K. Det er også tradisjon for å bruke denne metoden til å ekstrahere P. AL-metoden består i å tilføre 80 ml AL-løsning (0,1 M

² Bear, F.E., Prince and Malcolm. 1945. Potassium needs of New Jersey soils. Bull. 721. New Jersey Agric. Exp. Stn., New Brunswick

³ Graham, E.R. 1959. An explanation of theory and methods of soil testing. Bull. 734. Missouri Agric. Exp. Stn., Columbia.

⁴ Kinsey, Neal og Charles Walters 1993. Neal Kinsey's Hands-On Agronomy. Acres U.S.A

ammoniumlaktat og 0,4 M eddiksyre, pH i løsningen er 3,75) til 4 g jord. Dette ristes i 90 minutter ved 20°C, før suspensjonen filtreres og analyseres.⁵

Det finnes en rekke metoder for å ekstrahere jord. Noen brukes for plantetilgjengelige basekationer, noen for P, noen for begge deler og noen for kationbyttekapasitet. Eksempler på metoder er Melich-1, Melich-2, Melich-3, Brady, Morgan, Ammoniumacetat (AAc), Bariumklorid (BaCl₂), Kaliumklorid (KCl), Bikarbonat (Olsen-P) og Dobbeltlactate.^{6 7} I tillegg brukes spesielle prosedyrer for ekstraksjon av for eksempel syreløselig K, Cu og B. Ulike laboratorier benytter ulike metoder. I enkelte land brukes også flere metoder. Alle disse metodene vil gi ulike resultater. Det er derfor viktig å vite hvilke metode som er benyttet når resultatene skal tolkes og omsettes i anbefaling av gjødsling.

Det er utført en rekke sammenlikninger av analysemetoder, og de fleste metodene er relativt godt korrelerte, slik at en kan regne seg fra en type analyse til en annen ved hjelp av regresjoner. Flere av analysemetodene for plantetilgjengelige basekationer kan brukes sammen med pH og innhold av organisk materiale til å estimere kationbyttekapasitet og basemetningsgrad.

I Norge har vi et ungt jordsmonn fra siste istid (ca 10.000 år). Leira er lite forvitret og består mye av illitt. Sydover i Europa og i andre deler av verden finnes eldre jordsmonn, der leirpartiklene har vært utsatt for mer forvitring, og det finnes en god del leirtyper med mindre partikkelstørrelse og større spesifikk overflate som smektitt og vermikulitt. Ved ytterligere forvitring av leirmineralene dannes til slutt oksider med andre egenskaper enn leirpartiklene. For å vite hvilke regresjoner en skal bruke for å regne seg fra en analysemetode til en annen, må en finne en sammenheng (regresjon) som baserer seg på jord som er sammenliknbar med den en har sendt inn prøve av.

Extraction Method	Main cation concentration ¹ (mol/L)		Ratio soil:solution (g:mL)	pH	Vibration/revolutions (min)	Shaking/turn duration (min)
P _{AL}	NH ₄ ⁺	0.01	1:20	3.75 ± 0.05	<35	90
P _{DL}	Ca ²⁺	0.02	1:50	3.60 ± 0.10	30-35	90
P _{CAL}	Ca ²⁺	0.1	5:9	4.10	140	120
P _{M3}	NH ₄ ⁺	0.035	1:10	2.45 ± 0.05	>200	5
P _{Olsen}	Na ⁺	0.5	1:20	8.50	>200	30
P _{AAAC}	NH ₄ ⁺	0.5	1:10	4.65	27	60
P _W	H ⁺	10 ⁻⁷	1:60	7.00	160-170	60
P _{AAACEDTA}	NH ₄ ⁺	0.5	1:10	4.65	27	60
P _{AR} ²	H ⁺	13	1:20	-	-	-

Tabellen viser et utvalg ekstraksjonsmidler brukt til ekstraksjon av P, med angitt styrke på ekstraksjonsmidlene, blandingsforhold, pH og ristetid.⁸

⁵ Krogstad, Tore. 1992. Metoder for jordanalyse, Rapport nr. 6/92, Institutt for jordfag, Ås-MLH, ISSN 0803 – 1304.

⁶ Ross, Donald S. og Quirine Ketterings, 2011. Recommended Methods for Determining Soil Cation Exchange Capacity, Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States, Last Revised 5/2011 <https://s3.amazonaws.com/udextension/lawngarden/files/2012/10/CHAP9.pdf>

⁷ Schick, Judith, Sylvia Kratz, Daniel Rückamp, Raghad Shwiekh, Silvia Haneklaus og Ewald Schnug, 2013. Comparison and Inter-Calibration of Different Soil P Tests Used in the Baltic Sea Countries. Julius Kühn-Institut, Federal Research Center for Cultivated Plants (JKI) Institute for Crop and Soil Science.

⁸ Judith Schick, Sylvia Kratz, Daniel Rückamp, Raghad Shwiekh, Silvia Haneklaus and Ewald Schnug, Julius Kühn-Institut, Federal Research Center for Cultivated Plants (JKI) Institute for Crop and Soil Science, 2013, Comparison and Inter-Calibration of Different Soil P Tests Used in the Baltic Sea Countries.

Regresjon - omregning til P-AL	R ²
$P\text{-AL} = 1.80 + 1.85 * P\text{-CAL}$	95.2
$P\text{-AL} = -114 + 5.12 * P\text{-Olsen}$	59.0
$P\text{-AL} = -54.5 + 1.96 * P\text{-DL}$	76.7
$P\text{-AL} = 0.234 + 1.08 * P\text{-M3}$	88.9
$P\text{-AL} = 23.7 + 1.04 * P\text{-AAAcEDTA}$	97.6
$P\text{-AL} = -60.7 + 12.2 * P\text{-water}$	82.1
$P\text{-AL} = 35.8 + 4.11 * P\text{-AAAc}$	34.6

Tabellen viser eksempel på regresjoner for omregning fra ulike analysemetoder av P til P-AL.

Jordprøvene er fra nord i Tyskland og Polen og spenner seg fra sandholdig morene med podsol, sand- og siltholdig Arenosol til leirholdig Gleysol.⁹ R² = korrelasjonskoeffisienter R² i %.

Omregning fra AL-metode og pH til kationbyttekapasitet og basemetningsgrad

Professor Tore Krogstad ved NMBU har utviklet regresjoner for omregning av analyseresultater fra AL-metoden til AAC-metoden, basert på en rekke jordanalyser.

AAC-metoden bruker 1 mol/l ammoniumacetat til ekstraksjon, mens AL-metoden bruker 0,1 mol/liter Ammoniumlaktat. Ac brukes i 10 x sterkere konsentrasjon enn AL og bytter ut så godt som alle basekationene fra leirkollidene. Derfor er dette en metode som brukes til analyse av kationbyttekapasitet. Regresjonene til Krogstad tar også hensyn til innhold av organisk materiale. Han har også laget regresjon for beregning av hvor stor andel av kationbyttekapasiteten som er okkupert av H⁺-ioner ut fra pH i jorda.

Disse regresjonene kan brukes til beregning av katonebyttekapasitet og basemetningsgrad. Dette er en sikrere og rimeligere metode enn å sende inn prøver til utenlandske laboratorier som hverken oppgir ekstraksjonsmetode, omregningsmetode eller om prosentandelen med Ca, Mg, K og Na er oppgitt på vektbasis eller ekvivalentbasis. Det er utviklet et regneark av Norsk Landbruksrådgiving Viken som utfører beregninger av kationbyttekapasitet og basemetningsgrad ut fra standard jordanalyser etter AL-metoden ved hjelp av Krogstads formler.

Regresjon for omregning til fra AL-metode til Ac	R ²
$\text{Na-Ac} = 0,0438 * \text{Na-AL}$	0,98
$\text{K-Ac} = 0,024 * \text{K-AL} + 0,00337 * \text{OM} (\%) - 0,0297$	0,99
$\text{Mg-Ac} = 0,0836 * \text{Mg-AL} + 0,00815 * \text{OM} (\%) - 0,1282$	0,99
$\text{Ca-Ac} = 0,0534 * \text{Ca-AL} + 0,07759 * \text{OM} (\%) - 0,2087$	0,94
Beregnete Ac-tall er i cmol/kg (<i>ant ladninger</i>), AL-tallene er i mg/ 100 g jord.	
$\text{H}^+ = 0,1813 * \text{OM} \% * (5,78 - \ln (\text{OM} \%)) * (7,11\text{-pH})$	
Benevning er cmol c+ /kg jord (<i>antall ladninger</i>)	

Tabellen viser regresjoner for omregning av resultater fra AL-metode og pH til Ac-metode til beregning av kationbyttekapasitet og basemetningsgrad. Regresjonene er basert på upublisert materiale fra Professor Tore Krogstad ved Norges Miljø- og Biovitenskaplige Universitet.

Rapport jordanalyse

6

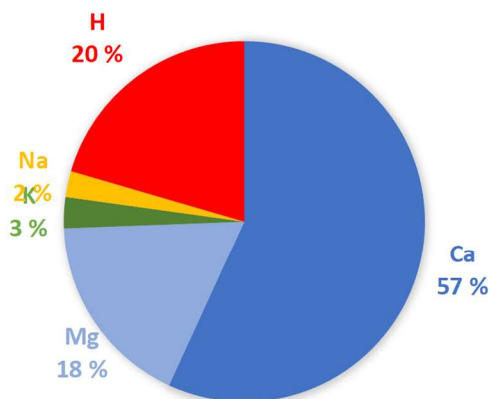
Navn		Jordart	11	Letteire	
Adresse		Leirklasse	4	Stiv leire	40-60%
		Volumvekt	1,3	kg/ liter	
Gårdnr: 0		Glødetap	5,6 %		
Bruksnr: 0		Mold %	3,0 %		
Prøvenummer	16SM	Karbon	1,5 %		
Skiftenummer	16	pH	6,2	Middels	

	P-AL (mg/ 100 g jord)		P-AL kg/ daa (20 cm dyp)		Estimert P-AAc	
Fosfor (P)	18	Svært høyt	46,8		19	

	Ammonium- laktat (-AL) (mg/ 100 g jord)		AL-ekstraher- bar mengde i 20 cm jord (kg/ daa)	K-HNO ₃	Estimert AAc (mg/ 100 g jord)	CEC basert på AAc cmol _{c+} / kg	Base- metnings- grad i % av CEC
Kalium (K)	14	Middels	36,4	0	12	0,3	2,8 %
Magnesium (Mg)	25	Svært høyt	65		24	2,0	17,6 %
Calcium (Ca)	120	Middels	312		129	6,4	56,8 %
Natrium (Na)	6		15,6		3	0,3	2,3 %
Sum basekationer						9,0	79,5 %
H+ ioner						2,3	20,5 %
Sum Kationbyttekapasitet CEC						11	100 %

	Forhold AL-tall	Forhold Aac	Forhold CEC
Ca/ Mg-forhold	4,8	5,34	3,24
K/ Mg - forhold	0,6	0,5	0,2
Ca/ K - forhold	8,6	10,4	20,3

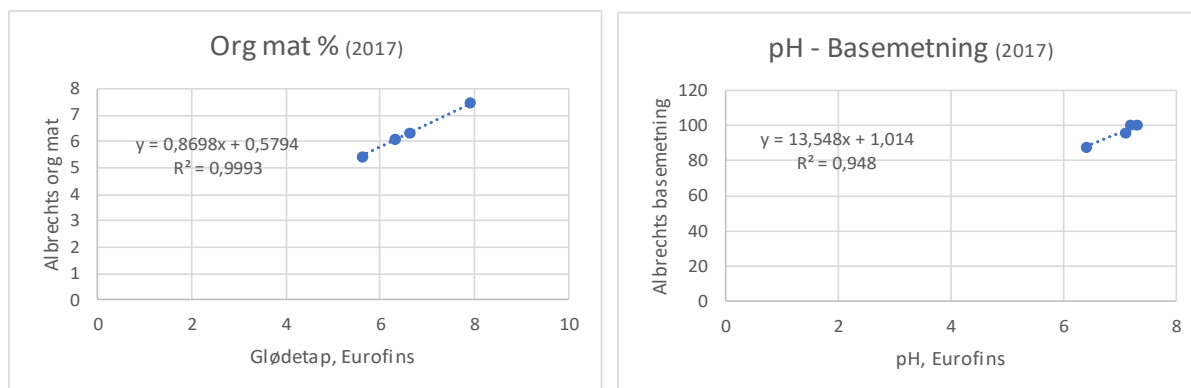
Cu	0
Bor	0
S-Al	0
Fe	0
Mn	0
Zn	0
Mo	0
Se	0



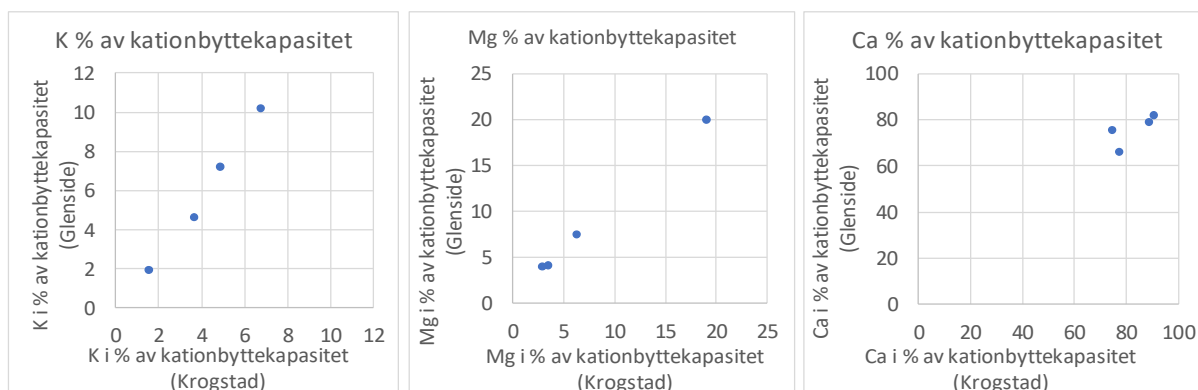
Beregning av kationbyttekapasitet og basemetningsgrad ut fra AL-tall, pH og organisk innhold baserer seg på upublisert materiale fra Tore Krogstad ved NMBU.

Eksempel på utskrift av regneark fra NLR Viken med omregning fra AL-metode til kationbyttekapasitet og basemetningsgrad. Kationbyttekapasiteten (CEC) er oppgitt i ladninger (Cmol_{c+})

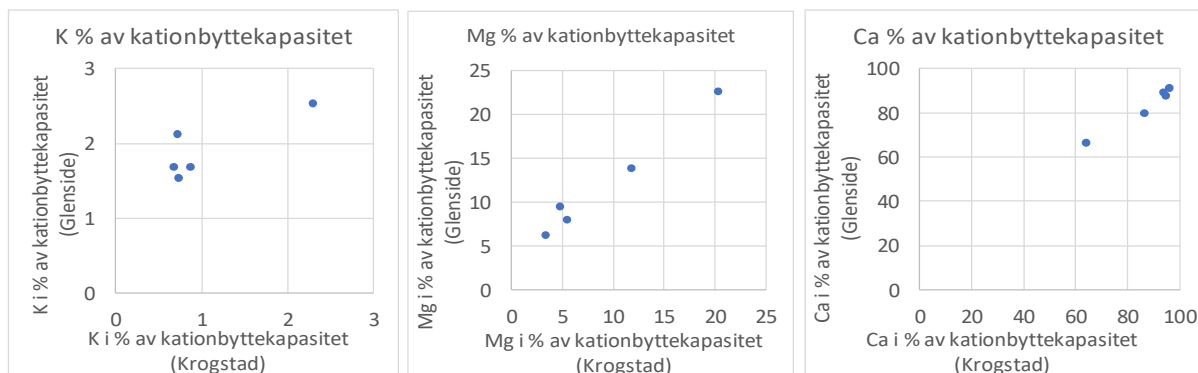
Det ble i 2017 og 2018 tatt ut jordprøver i Lier for å sammenlikne AL-analyseresultatene fra Eurofins med Albrechts basemetning, analysert etter Melich III i 2017 ved Glenside-laboratoriet i Skottland og Ammoniumnitrat i 2018 ved Brookside i USA. Det var gode korrelasjoner i forhold til analysemetode for de fleste elementene, selv om resultatene ikke var identiske. Analyseresultatene fra Glenside og Brookside er godt korrelerte med Krogstads regresjoner for beregning av kationbyttekapasitet og basemetningsgrad ut fra AL-analyser. Resultatene fra Melich III og Ammoniumnitrat overestimerer Mg og K med 10-20% i forhold til Krogstads modeller, mens Ca er mer sammenfallende.



Sammenlikning av analyseresultater fra Eurofins med "Albrechts analyse" fra Glenside i Skottland 2017.



Sammenlikning av analyseresultater fra Glenside i Skottland med Krogstads beregninger av K, Mg og Ca i prosent av kationbyttekapasitet ut fra AL-analyser utført ved Eurofins viser relativt gode korrelasjoner, selv om estimerer basert på Melich III fra Glenside viser noe høyere verdier for K.



Sammenlikning av analyseresultater fra Brookside i USA med Krogstads beregninger av K, Mg og Ca i prosent av kationbyttekapasitet ut fra AL-analyser utført ved Eurofins viser relativt gode korrelasjoner. Estimerer basert på ammoniumnitrat fra Brookside viser noe høyere verdier for Mg og K.

Hvor mye skal til for å øke jordas innhold av Ca, Mg og K?

Analyserapportene for AL-metoden oppgir Ca, Mg og K i mg/ 100 g jord. Tenker vi oss 1 m² jord med matjordlag på 20 cm og egenvekt på jorda på 1,3 kg/ liter, har vi 260 kg matjord pr m². Dette gir at 1 mg næringsstoff / 100 g jord tilsvarer 2,6 g/ m² og 2,6 kg/ daa. For å øke Ca-AL, Mg-AL eller K-AL betydelig kreves tilførsel av store mengder næring. For Ca og Mg kan innholdet økes ved kalking eller tilførsel av CaSO₄ eller MgSO₄.

Det finnes imidlertid ingen garanti for at alt det som tilføres av Mg, Ca eller K bindes til jorda. Mange sandholdige jorder i for eksempel Lågendalen og Brunlanes i Vestfold har jord med lavt innhold av Mg og ofte også K. Kalking med Mg-holdig kalk og gjødsling med Kalimagnesia gir gode avlinger, men verdiene for K-AL og Mg-AL i jorda har ikke økt gjennom de siste 20 åra. Det finnes ingen garanti for at alt tilført stoff faktisk bindes til jorda. Noe vil også vaskes ut, særlig på lette jordarter. Forsøk fra Rothamsted med tilførsel av 50 kg ammoniumsulfat gjennom 40 år har kun bidratt til å redusere Ca-innholdet i jorda fra 73 til 43 mg/ 100 g jord.⁹ Det vil si at joda har tapt rundt 60 kg Ca etter tilførsel av 2000 kg ammoniumsulfat, tilsvarende ca 12% på ekvivalentbasis.

Forhold mellom basekationer og avling

Rådgivere innen teori om ideell sammensetning av basekationer kan ofte anbefale bønder å endre Ca:Mg-forholdet for å få bedre jordstruktur. Eksempel på anbefaling har vært å endre Ca's og Mg's prosentvis andel av CEC fra 66:20 til "68% Ca-mætning og 12 % Mg-mætning". Dette virker urimelig bastant, når forskere på universiteter rundt i verden mer nyansert hevder at det på enkelte jordarter (illitt + Na med lite org mat) blir dårligere aggregatstabilitet når det blir mer Mg enn Ca.¹⁰ Det refereres til William Albrecht, men selv Albrecht opererer med videre grenser og er adskillig mer nyansert.¹¹ Det er utført flere forsøk som undersøker om forholdet mellom basekationer har betydning for avling. Giddens og Toth konkluderte i 1951 med at så lenge Ca- var det dominerende ionet, spilte det ingen rolle på kløveravlingene om K eller Mg utgjorde så mye som 40% av basemetningsgraden.¹²

Flere forsøk har gitt tilsvarende resultater og ikke gitt avlingsutslag så lenge jordas innhold av Ca er høyere enn Mg. Forsøk av Liebhart 1981 på sandsletter i Delaware, konkluderte med at summen av Ca og Mg på denne jorda ikke burde ligge over 65-75% for å unngå at pH ble så høy at det ble manganmangel. Ca:Mg-forholdet kunne også variere ganske mye uten at det ble utslag på avlingene.¹³ Forsøk av E. O. McLean og M. D. Carbonell i 1972 viste ingen avlingsutslag på tysk millet eller luserne når basemetningen av Mg:Ca varierte fra Mg 5%:Ca 75% til Mg 25%:Ca 55%.¹⁴ De oppnådde en dobling av avling når Mg:Ca-forholdet økte fra 3% Mg:18% Ca til 5% Mg:75% Ca, men

⁹ Johnston, Johnny, Lawes Trust, 2011. Assessing soil fertility; the importance of soil analysis and its interpretation, Rothamsted Research. <http://www.pda.org.uk/technical-potash-notes/assessing-soil-fertility-the-importance-of-soil-analysis-and-its-interpretation/>

¹⁰ Donstova, Katerina og L. Darrel Norton, 1999. Effects of Exchangeable Ca:Mg Ratio on Soil Clay flocculation, Infiltration and Erosion, Soil Science Society of America Journal – Article – A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the "Ideal" Soil.

<http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco10/sustainingtheglobalfarm/p057-dontsova.pdf>

¹¹ Wikipedia "William Albrecht", https://en.wikipedia.org/wiki/William_Albrecht

¹² Giddens, J. og Toth. 1951. Growth and nutrient uptake of ladino clover on red and yellow grey-brown podzolic soils.

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/ai/abstracts/43/5/AJ0430050209?access=0&view=pdf>

¹³ Liehardt, W.C. 1981. The basic cation saturation ratio concept and lime and potassium recommendations on Delaware's Coastal Plain soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:544–549.

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssai/abstracts/45/3/SS0450030544?access=0&view=pdf>

¹⁴ McLean, E. O. and M. D. Carbonell, 1972, Calcium, Mg, and Potassium Saturation Ratios in Two Soils and Their Effects Upon Yields and Nutrient Contents of German Millet and Alfalfa.

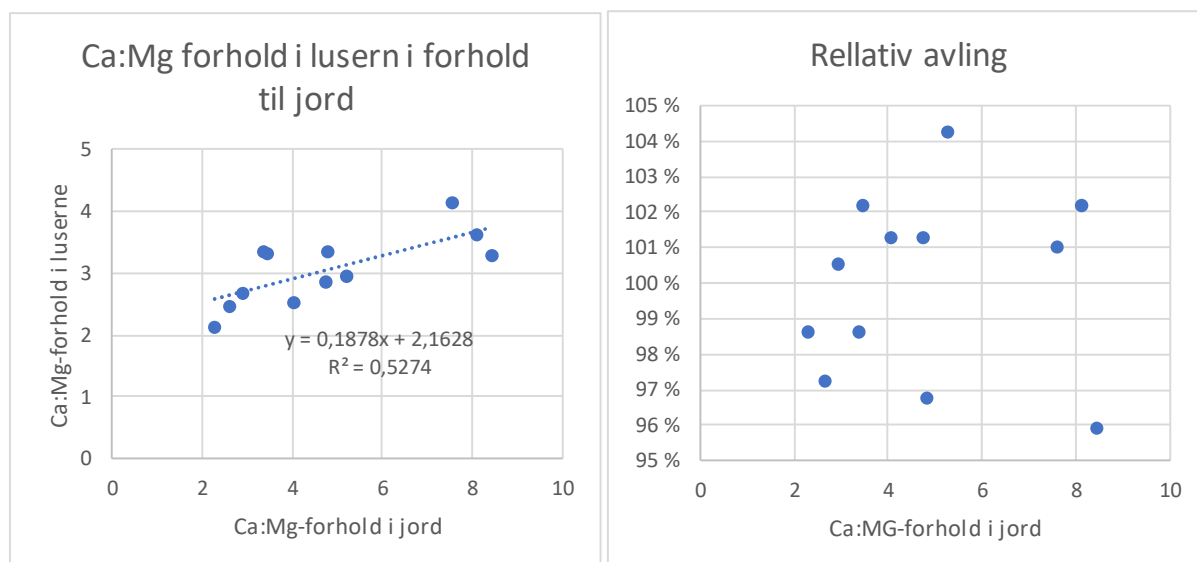
<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssai/abstracts/36/6/SS0360060927?access=0&view=pdf>

dette innebar også en økning i pH fra 5,4 til 6,8. Avlingsmessig hadde det ingen betydning om jorda hadde 6–10% Mg-metning, selv om 12–15% Mg er bedre for drøvtyggere med hensyn til å unngå graskrampe.

Soil	Cations in soil *			First cutting	Second cutting	Roots
	Ca	Mg	K			
Annan-dale	25	10	65	gm	gm	gm
	65	10	25	1.3	1.5	0.8
	65	10	25	1.6	2.0	0.8
	50	10	40	1.8	1.6	1.0
	50	40	10	1.7	1.6	0.9
	25	65	10	1.7	1.6	0.9
	65	25	10	1.7	1.8	0.8
	65	10	5	1.5	1.8	1.0
Sassafras	25	10	65	0.4	0.6	0.4
	65	10	25	0.4	0.4	0.4
	50	10	40	0.7	0.8	0.5
	50	40	10	0.5	0.7	0.5
	25	65	10	0.6	0.7	0.4
	65	25	10	0.7	0.6	0.4
	65	10	5	0.7	0.9	0.6
Cecil	25	10	65	1.7	0.4	0.5
	65	10	25	2.0	1.2	1.3
	50	10	40	2.3	1.1	1.0
	50	40	10	1.9	0.9	1.1
	25	65	10	1.6	1.3	1.0
	65	25	10	2.1	1.0	1.0
	65	10	5	2.1	1.0	1.0
Tifton	25	10	65	No growth	No growth	No growth
	65	10	25	1.1	1.0	0.9
	50	10	40	1.3	1.0	0.9
	50	40	10	1.1	0.9	0.9
	25	65	10	1.0	0.6	0.6
	65	25	10	1.1	0.8	0.8
	65	10	5	1.3	1.0	0.9

*m.e. per pot.

Tabellen viser avlingsresultater fra Giddens og Toth fra forsøk med ulike forhold mellom basekationer i kløver.



Diagrammet viser næringsopptak og avlingsresultater ved ulike Ca:Mg-forhold i jord fra Simson et al 1979.

Forsøk av Simson et al. 1979 viste ingen effekt i avling ved å endre Ca:Mg-forhold fra 2:1 til 8:1.¹⁵ Ca:Mg-forholdet i jorda påvirket Ca:Mg-forholdet i plantene henholdsvis fra 2:1 til 4:1. Det er kjent at overskudd av enkelte næringsstoffer i jord kan føre til "luksusopptak" i plantene. Dette gjelder særlig Ca som tas opp passivt og følger saftstrømmen inn i plantene og gjennom plantene.¹⁶ Plantene har likevel evne til å styre næringsopptak i forhold til egne behov, selv ved store forskjeller i jorda, så sant det ikke er mangler.

E. O. McLean, et al. utførte i 1982 forsøk i mais, soyabønner, hvete og luserne, og konkluderte også med at det ikke finnes noe eksakt Ca:Mg:K-forhold som er ideelt for avling, selv om opptaket av næringsstoffene i avlinga påvirkes av konsentrasjonene i jorda.¹⁷ pH i jorda var 5,0, 6,0, og 6,5. Mg-metning i jorda var 4%, 6%, og 10% og K-metning i prosent av kationbyttekapasiteten var 2,4% and 4,3%. Ca:Mg-forholdet varierte fra 2,3 til 26,8 og Mg:K-forholdet varierte fra 0,6 til 3,6.

Annual yield ¹			Soil				Crop			
			% of sum of 3 cations ²			Ca:K ratio	% in dry matter			Ca: K ratio
t/ha			Ca	Mg	K		Ca	Mg	K	
Rothamsted	10.0	%	94	2	4	24:1	0.6	0.11	3.5	0.2:1
Woburn	10.8	%	79	16	5	16:1	0.5	0.19	3.3	0.2:1

Forsøk fra Rothamsted i England har ikke funnet utslag på avling i forhold til jordas sammensetning av Ca, Mg og K. Selv om lavest Mg-innhold i jorda i gjennomsnitt ga lavest Mg-innhold i graset ble det ikke konkludert med sikre utslag for innhold av Ca, Mg og K i grasavlingene, til tross for at Ca:Mg:K-forholdet i jorda var svært forskjellig.¹⁸

¹⁵ Simson, C. R., R. B. Cory, og M. E. Sumner, 1979, Effect of varying Ca:Mg-ratios on yield and composition of corn and alfalfa. *Commun. In Soil Sci. and Plant Annual* 10. 153-162.

¹⁶ Aasen, Ivar, 1986. Mangelsjukdommar og andre ernæringsforstyrrelser i kulturplanter, Landbruksforlaget, ISBN 82-529-0665-6, s 38.

¹⁷ McLean, E. O., R. C. Hartwig, D. J. Eckert and G. B. Triplett, 1982, Basic Cation Saturation Ratios as a Basis for Fertilizing and Liming Agronomic Crops. II. Field Studies.

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/ai/abstracts/75/4/AJ0750040635?access=0&view=pdf>

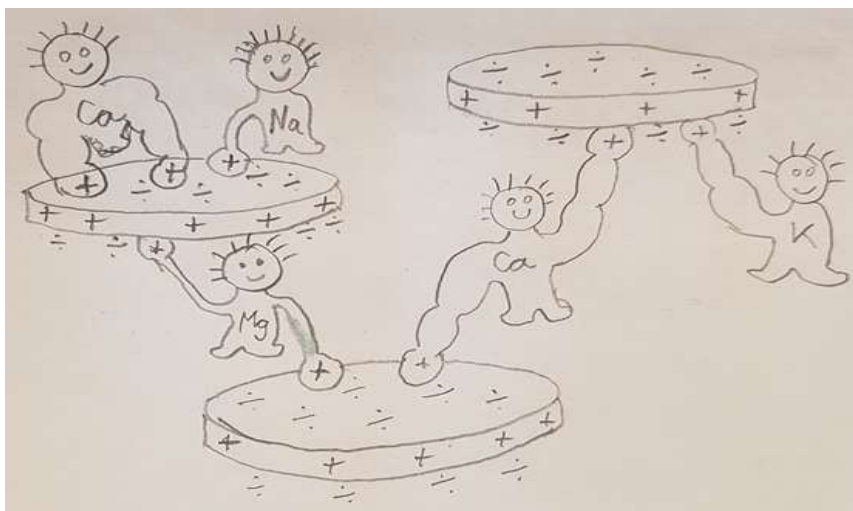
¹⁸ Johnston, Johnny, Lawes Trust, 2011. Assessing soil fertility; the importance of soil analysis and its interpretation, Rothamsted Research. <http://www.pda.org.uk/technical-potash-notes/assessing-soil-fertility-the-importance-of-soil-analysis-and-its-interpretation/>

Flere forsøk har vist at Mg-innholdet i plantene stiger lineært med økt Mg-tilførsel og at Mg-innholdet i plantene synker lineært med økende K-tilførsel.¹⁹ Denne type antagonisme er godt dokumentert. Alle basekationene og NH_4^+ er i konkurranse med hverandre når det gjelder opptak i plantene.²⁰ På lett sandjord i Vestfold har Norsk Landbruksrådgivning Viken funnet Mg-mangel som resultat av antagonisme ved ensidig bruk av Ca-holdig kalk. Mg-AL-verdiene var 7, noe som regnes for høyt, og Ca-AL-verdiene var over 440. Ca-AL over 200 regnes som svært høyt. Dette gir et Ca:Mg-forhold på over 60. Årlig tilførsel av Mg og fokus på å benytte Mg-holdig kalk har løst problemet, uten at det ble gjort noe for å endre Ca:Mg-forholdet.

Flere forsøk viser at det kan være krevende å endre jordas sammensetning av næringsstoffer. Konklusjonen med hensyn på avling er at så lenge det ikke er fare for mangel, bør det tilføres næringsstoffer i henhold til plantenes behov, men ikke mer. Det bør ikke være noe mål å gjødsle seg opp til et definert forhold mellom basekationene. Det er unødvendig kostbart og lite effektivt.

Forholdet mellom basekationer og jordstruktur

Det er fra flere hold hevdet at mye Mg gjør jorda kompakt fordi den ikke bidrar til å bygge jordstruktur. Dette er en sannhet med modifikasjoner. Både Ca^{2+} og Mg^{2+} er toverdige ioner. Hver ladning blir å sammenlikne med en "arm" som kan gripe tak i leirkolloider eller organisk materiale. Når de har to "armer" kan de enten binde seg med begge "armene" til samme leirpartikkel eller binde seg til to forskjellige leirmineraler eller organisk materiale. Når de binder seg til to forskjellige kolloider, bidrar de til å bygge struktur i jorda. Både Mg og Ca har denne egenskapen, men Ca danner sterkere bindinger til leirkolloidene enn Mg, og er derfor en bedre strukturdanner. De enverdige ionene K^+ og Na^+ har naturligvis ingen strukturdannende egenskaper.



Basekationene bindes med ulik styrke til leirkolloidene $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$. De toverdige ionene bindes sterkere enn de enverdige. Ca og Mg bidrar begge til å lage god jordstruktur fordi de er toverdige og kan binde seg til flere leirkolloider samtidig. Ca danner sterkere bindinger enn Mg, og er derfor den beste strukturdanneren av de to.

¹⁹ Rehm, G.W., and R.C. Sorensen. 1985. Effects of potassium and Mg applied for corn grown on an irrigated sandy soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49:1446–1450.

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssai/abstracts/49/6/SS0490061446?access=0&view=pdf>

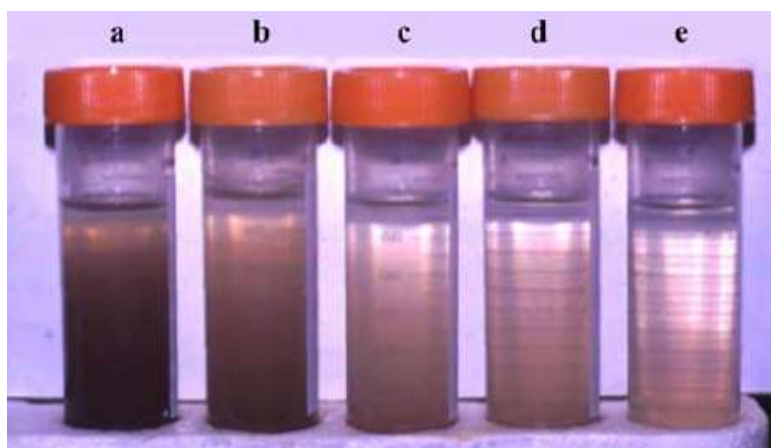
²⁰ Aasen, Ivar, 1986. Mangelsjukdommar og andre ernæringsforstyringar i kulturplanter, Landbruksforlaget, ISBN 82-529-0665-6, s 34.

Donstova og Norton gjorde i 1999 tre eksperimenter med flokkulering, infiltrasjon og erosjon ved ulike Ca:Mg-forhold.²¹ I flokkuleringsforsøket fant de at flokkuleringen var effektiv så lenge Ca:Mg-forholdet var 50:50 eller høyere.

Infiltrasjonsforsøket viste at for 2 av de 4 jordartene var infiltrasjonsevnen bedre i jord som var mettet med Ca enn i jord som var mettet med Mg. Erosjonsforsøket viste for 2 av de 4 jordartene at aggregatstabiliteten var sterkere når jorda inneholdt mye Ca. De to siste forsøkene var ikke entydige.

Mye kan tyde på at strukturen kan bli dårligere på enkelte leirjordarter ved mer Mg enn Ca, særlig er nevnt leire med illitt-kolloider som inneholder mye Na. Illitt (2:1-mineral) er blant de mest vanlige leirkolloidene i marine leirer i Norge. Det antydes at det primært er høyt Na-innhold i jorda som bidrar til dårligere aggregatstabilitet. Det konkluderes med at jordas innhold av organisk materiale har langt større betydning for aggregatstabilitet og jordstruktur enn forholdet mellom Ca og Mg i jorda.

I de fleste norske jordarter er det såpass lite Mg at vi nok skal tilføre ekstremt mye før Mg blir årsak til dårlig jordstruktur. Forsker hos Rådgivende agronomer, Karl Jan Erstad mener at det skal mye til at vi får problemer med dette i norske jordarter. Da skal det nok i tillegg være lite Ca, mye Na og K og lite organisk materiale. Ivar Aasen nevner det samme i sin bok om Mangelsjukdomar.²²



Forsøk med flokkulering i 24 timer av jord ved ulike Ca:Mg-forhold i væske med 2,1 mM Ca-/Mg-sulfat. a) 0:100, b) 25:75, c) 50:50 og d) 100:0. Fra Donstova og Norton 1999.

Forholdet mellom basekationer og mikrobieliv i jorda

Livet i jorda er svært komplekst. Det består av sopp, bakterier, protozoer med flere, med mange arter innenfor hver gruppe. De henter energi fra organisk materiale som de bryter ned i jorda. Noe av det organiske materialet brytes ned, og noe endrer struktur når organismene i jorda omsetter det. Enkelte strukturer blir også mer stabile når jordlivet får behandlet det. Danning av humus er en del av dette. Det er vanskelig å dokumentere om forholdet mellom basekationene i jorda har noen betydning for jordlivet og for det organiske materialet. Da må de enkelte artene defineres og undersøkes spesifikt.

²¹ Donstova, Katerina og L. Darrel Norton, 1999. Effects of Exchangeable Ca:Mg Ratio on Soil Clay flocculation, Infiltration and Erosion, Soil Science Society of America Journal – Article – A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the “Ideal” Soil.

<http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco10/sustainingtheglobalfarm/p057-dontsova.pdf>

²² Aasen, Ivar, Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrrelser hos kulturplanter, Lanbruksforlaget 1986, 96 sider, side 37.

Det er ikke funnet effekter av Ca:Mg-forholdet i jorda i forhold til meitemark eller ugras.²³ Enkelte tenker at mye Ca i forhold til Mg gir bedre jordstruktur og bedre luftutveksling for mikroorganismene, men jordstruktur er nok knyttet atskillig sterkere til jordpakking, lavt innhold av organisk materiale og Na-innhold. At for mye Mg i forhold til Ca skal medføre strukturproblemer er, som tidligere nevnt, lite aktuelt i norsk jord, der innholdet av Mg sjelden er særlig høyere enn innholdet av Ca. Soto 2018 konkluderte med at balansering av Ca:Mg:K på 6 økologisk gårder nordøst i Ohio ikke hadde innvirkning på avling, jordbiologi eller ugras.²⁴ Hun så likevel at høy konsentrasjon av Ca førte til redusert opptak av K. Forskjeller i mengde ugras og jordliv kunne derimot knyttes til hvordan jordene hadde blitt stelt på forhånd.

Godt samsvar i forskning rundt betydningen av forholdet mellom basekationene

Det er gjort mange forsøk og oppsummeringer av forsøk når det gjelder "ideell" sammensetning av basekationer i jord.^{25 26 27 28 29} Konklusjonen er at det ikke har vært mulig å finne at et bestemt forhold mellom basekationene har effekt på plantevekst, ugras eller jordbiologi. Ulik sammensetning av basekationer i jorda har i ulik grad gitt utslag på konsentrasjoner av de respektive næringsstoffene i plantene, men plantene har stor evne til å styre opptak av de enkelte næringsstoffene i forhold til behov, så sant det ikke er mangel på enkeltelementer i jorda. Så lenge Ca ikke utgjør mindre enn 50% av kationbyttekapasiteten har ikke Ca:Mg-forholdet betydning for jordstrukturen. Selv ved lavere andel Ca enn 50% ser det ut til at innhold av organisk materiale og Na-innhold i jorda har større betydning enn Ca:Mg-forholdet.

Det er god sammenheng mellom hva som undervises på NMBU på Ås og andre universiteter i verden innen jordkjemi. De som forsvarer Albrechts teori om "ideelle" forhold mellom basekationer, er i hovedsak ikke forskere knyttet til universiteter, men private rådgivere. De refererer sjelden til forsøksresultater, men refererer til at de har gitt råd om forhold mellom basekationer gjennom en

²³ Kelling, K.A., Schulte and Peters. 1996. One hundred years of Ca:Mg ratio research. New Horiz. in Soil Ser. 8. Dep. of Soil Sci., Univ. of Wisconsin, Madison

²⁴ Soto, Andrea Leiva, 2018, Effects of Soil Balancing Treatments on Soils, Vegetable Crops and Weeds in Organically Managed Farms. THESIS Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science in the Graduate School of The Ohio State University.

https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=osu151514193894181&disposition=inline

²⁵ Wikipedia "Base-cation saturationratio", https://en.wikipedia.org/wiki/Base-cation_saturation_ratio#cite_note-a-30

²⁶ Johnston, Johnny, Lawes Trust, 2011. Assessing soil fertility; the importance of soil analysis and its interpretation, Rothamsted Research Harpenden. <http://www.pda.org.uk/technical-potash-notes/assessing-soil-fertility-the-importance-of-soil-analysis-and-its-interpretation/>

²⁷ Kopittke, Peter M. A., 2007, Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the "Ideal" Soil, Article in Soil Science Society of America Journal 71(2) https://www.researchgate.net/publication/37621389_A_Review_of_the_Use_of_the_Basic_Cation_Saturation_Ratio_and_the_Ideal_Soil

²⁸ Schulte, E. E., og K. A. Kelling, professor of Soil Science, College of Agricultural and Life Sciences, University of Wisconsin and University of Wisconsin-Extension Cooperative Extension.

²⁹ Gilker, Rachel, 2014, Soil Balancing: Does It Work? <https://onpasture.com/2014/06/23/soil-balancing-does-it-work/>

årrekke. De har gjort observasjoner som de mener er positive. Årsakssammenhengen er i liten grad etterprøvd og dokumentert.^{30 31 32 33}

Det ser ut til at de som er opptatt av forholdet mellom basekationene i jorda også i stor grad er opptatt av grønn gjødsling, fangvekster, mikrobeaktivitet og organisk innhold i jord. At dette er positivt for jordstruktur og for plantevekst, er godt dokumentert. Det er også godt dokumentert at plantene tolererer en svært vid og divers sammensetning av basekationer i jorda, og at det er kostbart og lite effektivt å forsøke å tilføre næring i jorda for å endre forholdet mellom basekationene.³⁴

Konklusjon

Det finnes et utall av analysemetoder for jord. Det er forskjellige ekstraksjonsmidler, ulik styrke på ekstraksjonsmidlene og ulike blandingsforhold mellom ekstraksjonsmidler og jord og forskjellig kontakttid før filtrasjon og analyse. De fleste analysemetodene er noenlunde godt korrelerte ($r^2 = 70-90$), men en skal ha svært god kjennskap til hva som faktisk er gjort ved det enkelte laboratorium for å kunne regne seg tilbake til noe kjent og kunne ha nytte av analyseresultatene. For å ha nytte av resultater fra andre analysemetoder må en enten ha gode referanseverdier i forhold til anvendelse av analysene eller en må regne om resultatene til kjente verdier. For å gjøre omregninger skal en ha stålkontroll på hvordan en regner om i forhold til atomvekt og milliekvivalenter, og vite hva laboratoriene faktisk har gjort/ ikke gjort når de angir resultatene. Det anbefales derfor at en i Norge holder seg til AL-metoden og pH, da det er denne metoden som det er erfaringer med å bruke på norsk jord, og det er denne metoden som ligger til grunn for korreksjoner i gjødselplanlegging.

Professor Tore Krogstad ved NMBU har utviklet regresjoner med gode korrelasjoner for å beregne kationbyttekapasitet og basemetningsgrad ut fra AL-analyse og pH. Disse modellene er lagt inn i et regneark, slik at det blir regnet om til CEC og basemetningsgrad. Spørsmålet er hva vi skal bruke det til. Dette er uansett langt rimeligere enn å benytte kostbare analyser ved laboratorier der de fleste ikke kjenner til hvordan en skal forholde seg til analysemetodene og resultatene.

Albrecht og flere med han har antydnet ideelle forhold for sammensetningene mellom basekationene. Disse variere noe, og det er vide spektrere. På enkelte analyseskjemaer som analyserer etter "Albrechts metode" angis det ideelle forholdet mellom ionene i jorda i prosent med to desimaler. Selv Albrecht var videre i sin antydning av hva som var "ideelt" enn hva enkelte rådgivere er i dag. Jeg har ikke klart å finne dokumentasjon på at de definerte forholdene mellom basekationer har betydning for avling, med mindre forholdet er så skeivt at det oppstår mangel ved antagonisme. En rekke forsøk er gjennomført uten å klare å dokumentere forskjeller i avling, ugrasbestand eller mikrobieliv i jorda.

³⁰ Graeme Sait, 2014, In defence of Albrecht. <https://blog.nutri-tech.com.au/in-defense-of-albrecht/>

³¹ Petersen, Brett 2017. How the Albrecht-Kinsey System of Soil Fertility is Changing Agriculture for the Better, Kiwi Fertilizer. <https://www.kiwifertiliser.co.nz/articles-blog/item/179-how-the-albrecht-kinsey-system-of-soil-fertility-is-changing-agriculture-for-the-better>

³² Kinsey, Niel, 2015. Rebuilding Soil Fertility, The first in a series of articles aimed at helping growers improve both crop and livestock nutrition by improving productivity in the soil. <http://www.kinseyag.com/RebuildSoilFert.html>

³³ Holmes, Jonathan, 2017 Albrecht soil analysis – how it works Grassland Management, Lordington Park Agronomy. <https://lordingtonparkagronomy.co.uk/albrecht-soil-analysis-works/>

³⁴ Mark Measures, 2019. Base Cation Saturation Ratio (Albrecht) soil analysis - what is in it for you? <https://www.agricology.co.uk/field/blog/base-cation-saturation-ratio-albrecht-soil-analysis-what-it-you>

Det finnes flere konsulenter med 20-30 års erfaring med rådgivning i forhold til basemetningsgrad-metoden (Albrechts metode). Disse konsulentene refererer sjelden til forsøksresultater, men som oftest til at de har gitt de samme råda svært lenge. 1 mg AL-løselig element pr 100 g jord tilsvarer ca 2,3-2,6 kg pr daa. Å endre AL-talla eller forholdet mellom basekationene kan kreve svært store mengder av enkelte næringsstoffer. En ser også eksempler på at særlig sandjord med lavt innhold av leir og organisk materiale i svært liten grad klarer å holde på næringsstoffene som tilføres. Det skal mye til at en gjør noe galt med jorda om en prøver å tilføre næringsstoffer slik at forholdet mellom basekationene blir "ideell", men det har lite for seg og er unødvendig kostbart. Ved lav pH er det viktig å kalke. Ved kalking vil Ca-innholdet i jorda øke. Er det lave Mg-verdier i jorda bør en kalke med dolomitt (Mg-holdig kalk) når det er behov for kalking. Ellers bør en tilpasse den årlige gjødsling etter jordanalysene.